

(43) Date de publication:
07.05.1997 Bulletin 1997/19

(51) Int. Cl.⁶: G01R 31/36

(21) Numéro de dépôt: 96202928.6

(22) Date de dépôt: 21.10.1996

(84) Etats contractants désignés:
DE ES FR GB IT

(30) Priorité: 31.10.1995 FR 9512864

(71) Demandeurs:

- **LABORATOIRES D'ELECTRONIQUE PHILIPS S.A.S.**
94450 Limeil-Brévannes (FR)
Etats contractants désignés:
FR
- **PHILIPS ELECTRONICS N.V.**
5621 BA Eindhoven (NL)
Etats contractants désignés:
DE ES GB IT

(72) Inventeurs:

- Patillon, Jean-Noel,
Société Civile S.P.I.D.
75008 Paris (FR)
- Gerard, Olivier,
Société Civile S.P.I.D.
75008 Paris (FR)

**(74) Mandataire: Lottin, Claudine
Société Civile S.P.I.D.
156, Boulevard Haussmann
75008 Paris (FR)**

(54) **Système de contrôle des cycles de charge-décharge d'une batterie rechargeable, et dispositif hôte muni d'une batterie intelligente**

(57) Système de contrôle (100) des cycles de décharge-charge d'une batterie couplé à une batterie rechargeable (110) comprenant :

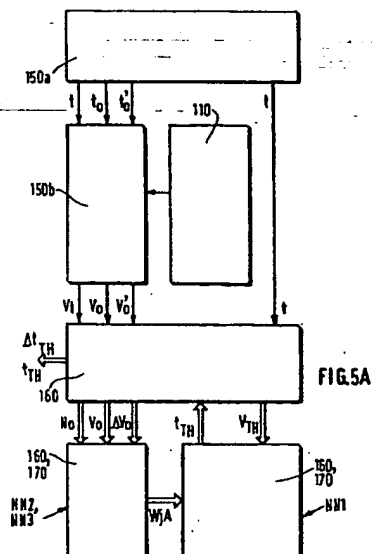
plé à un système hôte (130), à des moyens de mesure (150) et à des moyens d'affichage (140).

Application : Appareils à batterie rechargeable

des premiers moyens de calcul adaptatifs (NN1) arrangés pour collecter, à un instant initial (t_0) d'une phase de décharge, une valeur prédéterminée d'un seuil critique de tension de décharge (V_{TH}), et pour calculer et fournir une indication prédictive d'un instant critique (t_{TH}) où la batterie atteindra ce seuil (V_{TH}).

des seconds et troisièmes moyens de calcul adaptatifs (NN2, NN3), couplés aux premiers moyens de calcul, arrangés pour collecter, à l'instant initial (t_0), une mesure d'une tension initiale (V_0), d'une variation initiale (ΔV_0) de la tension après un court laps de temps (Δt_0), et du nombre antérieur initial (N_0) de cycles de décharge-charge, et pour calculer et fournir respectivement un lot de paramètres approximatifs (W_jB) et un lot correspondant de paramètres de correction (W_jC) qui sont additionnés pour fournir les paramètres de fonctionnement (W_jA) imposés aux premiers moyens de calcul.

Dans ce système de contrôle (100), les moyens de calcul adaptatifs peuvent être des réseaux de neurones formés d'un microprocesseur (160) et de zones mémoires (170). Ce système de contrôle (100) peut être cou-



EP 0 772 056 A1

Description

L'invention concerne un système de contrôle des cycles de décharge-charge d'une batterie rechargeable, pour former une batterie intelligente. L'invention concerne également un dispositif hôte équipé d'une batterie intelligente.

5 L'invention trouve son application dans le domaine des appareils modulaires équipés d'une batterie rechargeable tels que par exemple : les téléphones cellulaires individuels ou professionnels, les outils sans fil, les ordinateurs portables, les jouets....

Par batterie intelligente, on entend généralement une batterie rechargeable, couplée à un système qui contrôle sa quantité de charge. Ce système comporte des moyens pour collecter des données sur la quantité de charge de la batterie, et des moyens pour fournir des informations prédictives calculées concernant les conditions de décharge dans le futur.

Un problème technique posé par la détermination d'informations prédictives sur les conditions de décharge dans le futur, pour une batterie rechargeable, tient à la variabilité des paramètres de construction de la batterie et à la variabilité des habitudes de l'utilisateur du dispositif hôte.

15 La variabilité des paramètres de construction de la batterie considérée individuellement est due à la dispersion des données de structure en cours de fabrication, pour un même type de batterie.

La variabilité des habitudes de l'utilisateur conduit à des abus qui peuvent endommager la batterie et affecter les possibilités ultérieures de recharge. Ces habitudes abusives comprennent des charges durant un laps de temps trop long, ou des recharges trop fréquentes d'une batterie non substantiellement déchargée.

20 Un autre problème technique tient aussi au fait que les applications actuelles des batteries rechargeables requièrent une très haute précision portant sur la quantité d'énergie disponible à un moment donné.

Un système de contrôle de la quantité de charge d'une batterie, utilisant un réseau de neurones est déjà connu de la publication intitulée "Neural Network, A proper Approach to the Energy Management Problem", par Marcus STOLL dans "10th European Photovoltaic Solar Energy conference", 8-10 APRIL 1991, LISBON, PORTUGAL, p.427-430".

25 La publication citée décrit l'utilisation d'un réseau de neurones pour assumer la tâche d'estimer la quantité de charge (SOC) d'une batterie plomb-acide, dans un système de recharge (RES). Selon le document cité, la détermination de la quantité de charge (SOC) est une tâche importante devant être effectuée pour contrôler le niveau d'énergie d'une batterie. En particulier, l'estimation de la quantité de charge permet la planification de l'utilisation de l'énergie renouvelable, l'optimisation des conditions d'utilisation d'un dispositif hôte, la prise de décisions qui concerne les différentes phases des cycles de décharge-charge de la batterie.

30 Un réseau de neurones est entraîné, au moyen d'une base de données, à estimer la quantité de charge (SOC). Pour réduire le coût, le réseau de neurones est entraîné sur seulement une petite partie du domaine de décharge de la batterie. Comme, durant la plus grande partie du temps, le courant de décharge est très petit, l'entraînement du réseau de neurones est réalisé dans ce domaine.

35 Dans la phase d'apprentissage du réseau de neurones, on utilise une base de données incluant le courant de décharge, la tension de décharge, et la quantité de charge sous conditions standards d'utilisation, c'est-à-dire à température fixe de 20°C, et à courant fixe. En addition, cette base de données peut inclure des informations relatives aux cycles de décharge et profondeur de décharge et à la température moyenne de la batterie. Différents lots de ces données, formant des vecteurs d'entrée, sont fournis au réseau de neurones pour lui apprendre le comportement de décharge des batteries. Le réseau de neurones s'organise pour une représentation appropriée du comportement de la batterie.

Dans la phase de classification du réseau de neurones, on lui fournit seulement le courant et la tension de décharge et il répond en sortie avec la quantité de charge correspondante de la batterie.

45 Un problème qui résulte de l'utilisation du système connu est que ce système n'est pas en mesure de prédire directement le laps de temps restant avant qu'un seuil critique de tension de décharge ne soit atteint.

Un autre problème qui résulte de l'utilisation du système connu est que les données correspondant au nombre de cycles antérieurs de charges-décharges et à la profondeur des décharges dans ces cycles, ne peuvent pas correctement être prises en compte. En effet, ces données sont éminemment variables en fonction de l'utilisation réelle qui est faite de la batterie en fonctionnement, et influent grandement sur la quantité de charge réelle présente dans la batterie à un instant donné d'un cycle de décharge, alors que, dans le système connu du document cité, les poids du réseau de neurones sont fixés définitivement dès la fin de la phase d'apprentissage.

50 Un but de la présente invention est de fournir un système de contrôle des cycles de décharge-charge d'une batterie qui fournit des informations prédictives concernant l'instant où un seuil critique prédéterminé de tension de décharge de la batterie sera atteint, et plus particulièrement des informations prédictives concernant le laps de temps restant à courir à partir de chaque instant courant d'utilisation jusqu'à l'instant où ce seuil critique prédéterminé de tension de décharge sera atteint.

Un but de la présente invention est de fournir un système de contrôle des cycles de décharge-charge d'une batterie qui fournit de telles informations prédictives qui s'adaptent automatiquement aux nouvelles données de tension qui varient à chaque phase de décharge de la batterie en fonction du nombre de cycles de décharge-charge déjà effectué

antérieurement.

Un but de la présente invention est de fournir un tel système de contrôle qui fournit de telles informations prédictives qui s'adaptent aux nouvelles données réelles de tension qui varient à chaque phase de décharge de la batterie, par rapport aux données de tension prédites, du fait de la dispersion du comportement de chaque batterie individuelle par rapport à un comportement moyen.

Ces problèmes sont résolus par un système de contrôle des cycles de décharge-charge d'une batterie rechargeable, couplé à une batterie rechargeable ayant des phases de décharge alternant avec des phases de charge selon des cycles de décharge-charge, ce système comprenant :

- 10 des premiers moyens de calcul adaptatifs qui sont arrangés pour collecter, au commencement d'une phase de décharge d'un cycle de décharge-charge de la batterie, un lot de paramètres de fonctionnement appelés premiers paramètres, et pour recevoir en entrée une valeur prédéterminée d'un seuil critique de tension de décharge, et qui sont arrangés pour fournir en sortie une indication prédictive calculée de l'instant où la batterie atteindra ce seuil critique correspondant à la fin de cette phase de décharge, ce système comprenant aussi :
- 15 des seconds et des troisièmes moyens de calcul adaptatifs, couplés aux premiers moyens de calcul, qui sont arrangés pour recevoir, en entrée, à un instant initial, au commencement de ladite phase de décharge de la batterie, une valeur de la tension de batterie appelée tension initiale, une valeur d'une variation de cette tension initiale après un court laps de temps à partir de cet instant initial, et une valeur du nombre initial de cycles de décharge-charge de cette batterie, effectués antérieurement à ladite phase de décharge, et qui sont arrangés pour fournir en sortie, dès
- 20 l'instant de ladite phase de décharge où les valeurs initiales sont disponibles, respectivement, un lot de paramètres approximatifs et un lot de paramètres correspondants de correction, qui sont additionnés pour fournir lesdits premiers paramètres de fonctionnement imposés auxdits premiers moyens de calcul.

Ces problèmes sont en particulier résolus par un système tel que défini précédemment comprenant aussi :

- 25 une zone de mémoire vive pour enregistrer durant ladite phase de décharge, des lots de valeurs réelles instantanées formés chacun d'une mesure de la tension de décharge de la batterie et de l'instant courant correspondant à cette mesure, et un calculateur, système dans lequel, durant la phase de charge de la batterie qui suit ladite phase de décharge du cycle de décharge-charge concerné :
- 30 les premiers moyens de calcul sont en outre arrangés pour calculer A POSTERIORI de manière autonome et fournir des paramètres appelés paramètres réels qui correspondent au fonctionnement de ces premiers moyens de calcul dans la situation où les lots de valeurs réelles instantanées leurs sont imposés, avec la mesure de tension de décharge imposée en entrée et l'instant courant correspondant imposé en sortie,
- 35 le calculateur est arrangé pour recevoir lesdits paramètres approximatifs calculés par les seconds moyens de calcul durant la phase de décharge, et lesdits paramètres réels calculés par les premiers moyens de calcul durant la phase de charge, et pour fournir des différences respectives entre ces paramètres, appelées paramètres d'erreurs, et les troisièmes moyens de calcul sont arrangés pour calculer de manière autonome des paramètres appelés paramètres adaptatifs qui correspondent au fonctionnement de ces troisièmes moyens de calcul dans la situation où les paramètres d'erreurs leur sont imposés en sortie, alors que les valeurs initiales de la phase de décharge
- 40 antérieure leur sont imposées en entrée,

et système dans lequel, les troisièmes moyens de calcul conservent comme paramètres de fonctionnement, dans la phase de décharge ultérieure du cycle de décharge-charge suivant, les paramètres adaptatifs, calculés dans ladite phase de charge.

- 45 Dans un mode de réalisation particulier, ces problèmes sont résolus par un système de contrôle tel que défini précédemment, dans lequel :

- 50 les premier, second et troisième moyens de calcul sont constitués respectivement par un premier, second et troisième réseaux de neurones, les premiers paramètres de fonctionnement sont les coefficients synaptiques du premier réseau de neurones, le premier réseau de neurone ayant une cellule d'entrée pour une valeur de tension, et une cellule de sortie pour une valeur de temps, le second réseau de neurone ayant trois cellules d'entrée pour lesdites valeurs initiales et un nombre de cellules de sortie pour les paramètres approximatifs en nombre égal au nombre des coefficients synaptiques du premier réseau de neurones, et le troisième réseau de neurones ayant trois cellules d'entrée pour lesdites valeurs initiales et un nombre de cellules de sortie pour les paramètres de correction
- 55 en nombre égal au nombre des coefficients synaptiques du premier réseau de neurones, et dans lequel : le calculateur est arrangé pour recevoir et additionner les paramètres approximatifs et les paramètres de correction et pour fournir lesdits coefficients synaptiques imposés au premier réseau de neurones.

Dans un autre mode de réalisation particulier, ces problèmes sont résolus par un système de contrôle tel que défini

précédemment, dans lequel

le premier réseau de neurones réalisant les premiers moyens de calcul, est arrangé pour calculer, durant la phase de charge qui suit la phase de décharge du cycle de décharge-charge concerné, par une méthode de rétropropagation, des paramètres réels qui sont ses propres coefficients synaptiques réels dans la situation où, pour chaque lot de valeurs réelles instantanées, la mesure de tension de décharge est imposée à son entrée, et l'instant courant correspondant est imposé à sa sortie, le calculateur est arrangé pour fournir les paramètres d'erreurs formés par les différences respectives entre lesdits coefficients synaptiques réels calculés par le premier réseau de neurones durant ladite phase de charge, et lesdits paramètres approximatifs calculés par le second réseau de neurones pour ladite phase de décharge antérieure, le troisième réseau de neurones réalisant les troisièmes moyens de calcul, est arrangé pour calculer, par une méthode de rétropropagation, des paramètres adaptatifs qui sont ses propres coefficients synaptiques adaptatifs, dans la situation où les paramètres d'erreurs sont imposés à ses sorties et les valeurs initiales de la phase de décharge antérieure sont imposées à ses entrées, ce troisième réseau de neurones conservant, dans la phase de décharge ultérieure du cycle de décharge-charge suivant, ces coefficients synaptiques adaptatifs, calculés dans ladite phase de charge.

L'avantage de ce système de contrôle dans l'un et l'autre de ses modes de réalisation est que les indications prédictives s'adaptent aux caractéristiques individuelles de décharge-charge de la batterie à laquelle ce système de contrôle est couplé, soit pour un type de batterie donné, soit pour différents types de batteries, car ce système de contrôle présente l'avantage d'être adaptatif à tout nouveau cycle de décharge-charge.

Un autre avantage est que ces indications prédictives sont très précises et très fiables.

Un autre avantage est que ces indications portent sur une mesure permettant à l'utilisateur de faire fonctionner un dispositif hôte muni de cette batterie "intelligente" dans les meilleures conditions d'utilisation.

Dans un mode d'application de l'invention, un dispositif hôte est alimenté par une batterie rechargeable et comprend un tel système de contrôle couplé à cette batterie.

L'avantage de ce système est d'être simple à mettre en oeuvre. Le dispositif hôte couplé à ce système est particulièrement performant.

L'invention est décrite ci-après en détail en référence avec les figures schématiques annexées, dont :

- la FIG.1A qui représente un système de contrôle pour batterie rechargeable, pour constituer un système global appelé batterie intelligente, en fonctionnement dans une phase de décharge d'un cycle de décharge-charge ; et la FIG.1B qui représente le même système de contrôle en apprentissage dans une phase consécutive de charge, pour acquérir une fonction d'adaptativité ;
- la FIG.2A qui représente un premier réseau de neurones NN1, la FIG.2B qui représente un second réseau de neurones NN2 et la FIG.2C qui représente un troisième réseau de neurones pour ce système de contrôle ;
- la FIG.3 qui représente un diagramme de blocs symbolisant les étapes de la procédure d'apprentissage des trois réseaux de neurones du système de contrôle dans la phase de charge consécutive à la phase de décharge, pour acquérir une fonction d'adaptativité ;
- la FIG.4A qui représente une courbe de la tension de décharge d'une batterie en fonction du temps ;
- la FIG.4B qui représente une courbe du temps de décharge d'une batterie en fonction de la tension de décharge ;
- la FIG.4C qui représente des courbes de temps de décharge d'une batterie en fonction du nombre de cycles de décharge-charge, en α sans les troisièmes moyens de calculs adaptatifs, en β avec les troisièmes moyens de calculs prédictifs et adaptatifs, et en γ des valeurs réelles mesurées ;
- la FIG.5A qui représente les éléments pour mettre en oeuvre un système de contrôle ; et la FIG.5B qui représente un système de contrôle dans un système hôte ;
- la FIG.6A qui représente la structure d'une cellule neuronale de la couche cachée du premier réseau de neurones NN1 du système de contrôle, la FIG.6B qui représente la structure de la cellule neuronale de sortie de ce même premier réseau NN1.

En référence avec la FIG.5B dont la légende est au Tableau II, un système de contrôle 100 est couplé à une batterie rechargeable 110, pour constituer un système global appelé batterie intelligente 120. Cette batterie rechargeable a des phases de charge alternant avec des phases de décharge selon des cycles de décharge-charge consécutifs. Le système 100 contrôle les phases de décharge et éventuellement de charge des cycles de décharge-charge de la batterie rechargeable. Ce système de contrôle 100 comprend un calculateur 160 pour fournir une indication d'un instant t_{TH} où, dans une phase de décharge, la batterie 110 atteindra un seuil critique prédéterminé de tension V_{TH} , et plus spécifiquement, pour fournir une indication du laps de temps Δt_{TH} restant à courir, avant que ce seuil critique prédéterminé de tension de décharge V_{TH} ne soit atteint, ou bien les deux indications. L'ensemble de cette batterie intelligente 120 peut être incorporée dans, ou couplée à c dispositif hôte 130. Dans ce cas, cette batterie rechargeable 110 est

couplée par des connexions D1, D2 à ce dispositif hôte 130. Le dispositif hôte comprend en outre des moyens d'affichage 140, pour fournir à l'utilisateur les indications de temps t_{TH} ou Δt_{TH} , ou les deux.

Le système de contrôle 100 est aussi couplé à des moyens de mesure 150 du temps, et de la tension de batterie.

5 Procédure de fonctionnement du système de contrôle 100 durant une phase de décharge, d'un cycle de décharge-charge

En référence avec la FIG.1A, qui représente le système de contrôle fonctionnant dans une phase de décharge de la batterie, ce système de contrôle 100 collecte d'une part des valeurs appelées initiales, à un instant appelé instant initial t_0 , qui coïncide avec le tout début d'une phase de décharge de la batterie dans un cycle de décharge-charge. Ces valeurs initiales sont :

V_0 la tension de la batterie, V_0 étant alors appelée tension initiale de la batterie à cet instant initial t_0 ;
 ΔV_0 la variation de la tension de batterie encore appelée variation de tension initiale, mesurée au cours d'un premier laps de temps Δt_0 très court d'utilisation de la batterie entre l'instant initial t_0 et un instant ultérieur $t_0 = t_0 + \Delta t_0$;
 N_0 le nombre de cycles de décharge-charge de la batterie déjà effectué avant l'instant initial considéré t_0 ; N_0 peut éventuellement être égal à 0 (zéro) si le cycle considéré est le premier cycle d'utilisation de la batterie, antérieurement neuve et n'ayant jamais été rechargée ; N_0 est appelé nombre de cycle initial.

Ce système 100 peut collecter d'autre part des valeurs instantanées à chaque instant courant successif t de cette même phase de décharge. Ces valeurs instantanées sont :

V_t la tension de la batterie à un instant courant t et l'instant t correspondant.

En référence avec la FIG.1A, un système 100 de contrôle des cycles de décharge-charge d'une batterie rechargeable 110 comprend des premier, second et troisième moyens de calcul prédictifs et adaptatifs couplés notés respectivement NN1, NN2, et NN3, pour fournir, à partir des valeurs initiales de tension V_0 , ΔV_0 , N_0 mesurées dans une phase de décharge, et à partir de la valeur fixée d'un seuil de tension critique V_{TH} , l'indication prédictive d'un instant appelé instant critique t_{TH} où, dans la même phase de décharge, la tension de batterie atteindra ce seuil critique V_{TH} , et plus spécifiquement, une indication prédictive du laps de temps Δt_{TH} restant à courir avant que ce seuil critique de tension de décharge V_{TH} ne soit atteint, ce seuil étant prédéterminé pour que, avant que la tension de batterie n'atteigne ce seuil V_{TH} , la batterie 110 conserve une énergie de fonctionnement précisément connue, et située dans une certaine fourchette où cette énergie est correctement adaptée au fonctionnement d'un dispositif hôte 130 qu'elle alimente.

Tel que représenté sur la FIG.1A, dans un mode de réalisation, les premier, second et troisième moyens de calcul prédictifs et adaptatifs du système de contrôle 100 sont respectivement constitués par un premier réseau de neurones référencé NN1, un second réseau de neurones référencé NN2 monté en série avec le premier réseau de neurones NN1, et un troisième réseau de neurones NN3 monté en parallèle sur le deuxième réseau de neurones.

Dans la description ci-après, une première phase de décharge, notée PD1, commençant à un instant t_0 dans un cycle de décharge-charge, est d'abord considérée ; et un seuil critique prédéterminé de tension de décharge V_{TH} est fixé.

Le premier réseau de neurones NN1 a une entrée pour :

la tension V_{TH} qui constitue le seuil critique prédéterminé, et a une sortie pour fournir à chaque instant courant t , par exemple toutes les minutes :

l'instant t_{TH} où ce seuil critique prédéterminé de tension V_{TH} est atteint.

En référence avec la FIG.5A dont la légende est au Tableau I, le premier réseau de neurones NN1 est couplé à des moyens de mesure du temps 150a, qui fournissent une mesure de chaque instant courant t , et est couplé au calculateur 160 qui a une fonction d'additionneur et qui fournit par différence entre l'instant courant t et la valeur calculée de l'instant t_{TH} :

une valeur Δt_{TH} du laps de temps restant à courir avant que le seuil critique prédéterminé de tension de décharge V_{TH} ne soit atteint, dans le cas où la batterie est en fonctionnement normal pour alimenter un système hôte 130, et se décharge normalement du fait de ce fonctionnement.

Dans ce mode de réalisation exemplatif, les coefficients synaptiques ou poids de ce premier réseau de neurones NN1 sont au nombre de 13 et sont référencée W_jA où "j" est un indice de 1 à 13. Ils sont appelés premier paramètres W_jA et sont calculés et fournis automatiquement durant cette première phase de décharge PD1, par le second réseau de neurones NN2 coopérant avec le troisième réseau de neurones NN3.

Le second réseau de neurones NN2 a 3 entrées pour :

V_0 la tension initiale mesurée à l'instant initial t_0 de cette première phase de décharge PD1,
 ΔV_0 la variation de tension initiale, à un instant t_0 repéré après un court laps de temps Δt_0 , en partant de l'instant initial t_0 , par exemple 1 minute,

N_0 le nombre initial de cycles,

et a 13 sorties pour 13 paramètres W_jB appelés paramètres approximatifs, qui participent à constituer les coefficients synaptiques ou poids W_jA du premier réseau de neurones NN1.

Le troisième réseau de neurones NN3 a les mêmes entrées que le second réseau de neurones NN2, c'est-à-dire

à trois entrées pour :

Vo la tension initiale mesurée à l'instant initial t_0 de cette première phase de décharge PD1,
 ΔV_0 la variation de tension initiale, à un instant t' repéré après un court laps de temps Δt_0 , en partant de l'instant initial t_0 , par exemple 1 minute,

5 No le nombre initial de cycles,

et a 13 sorties pour 13 paramètres de correction W_{jC} pour corriger, respectivement les 13 paramètres approximatifs W_{jB} issus du second réseau de neurones NN2.

Le calculateur 160, qui a une fonction d'additionneur, fournit, entre autres, la valeur de la variation initiale de tension Δt_0 en calculant la différence entre la tension initiale V_0 mesurée à l'instant t_0 , et une tension ultérieure V_0 à l'instant suivant t_0 , telle que $\Delta V_0 = V_0 - V'_0$.

10 Ce calculateur 160 fournit en outre, dans sa fonction d'additionneur, les coefficients synaptiques ou poids W_{jA} nécessaires au fonctionnement du premier réseau de neurone durant cette première phase de décharge PD1, en effectuant l'addition des paramètres approximatifs W_{jB} issus du second réseau de neurones et des paramètres de correction W_{jC} issus du troisième réseau de neurones.

15 Les 13 résultats respectifs $W_{jA} = W_{jB} + W_{jC}$ sont imposés au premier réseau de neurones pendant cette première phase de décharge PD1, comme premiers paramètres de fonctionnement.

En référence avec la FIG.5B dont la légende est au Tableau II, le système de contrôle 100 comprend en outre des zones de mémoire vive RAM 170b pour enregistrer ou fournir selon le cas, les mesures variables et les poids du premier et du troisième réseau de neurones, et une zone de mémoire morte ROM 170a pour stocker les données de structures des réseaux de neurones NN1, NN2 et NN3, les paramètres fixes et les poids du second réseau de neurones NN2.

20 Ces mémoires sont accessibles par le calculateur 160, lequel effectue les calculs nécessaires au fonctionnement du système de contrôle 100.

Chacun des réseaux de neurones NN1, NN2 et NN3 doivent être organisés (ou arrangés) pour mener à bien ces calculs et fournir ces sorties. A cet effet, chacun d'eux est soumis à une procédure d'apprentissage et à une procédure de test appelées phases d'entraînement pendant lesquelles leurs coefficients synaptiques sont déterminés et, dans certains cas, fixés.

Procédure d'apprentissage des réseaux de neurones.

30

La tâche du premier réseau de neurones NN1 est d'apprendre des modèles de courbes de décharge. Cet apprentissage permet de construire une relation entre la valeur instantanée de la tension de décharge de batterie notée V_t , et l'instant courant t où la batterie atteint cette tension V_t . Le premier réseau de neurones NN1 doit, lors de son apprentissage, construire des fonctions F_w qui résolvent la relation (1a) :

35

$$t = F_w(V_t) \quad (1a)$$

où l'indice w affecté à F symbolise le fait que la fonction F est liée aux poids W_{jA} , ou coefficients synaptiques, du premier réseau de neurones NN1.

40

Le réseau de neurones NN1 a été construit pour générer une fonction F_w non linéaire.

En référence avec la FIG.2A, le premier réseau de neurones NN1 comprend :

une couche d'entrée formée de 2 cellules neuronales, incluant une première cellule neuronale ECOA pour l'entrée d'une valeur de seuil choisie à -1, et une seconde cellule neuronale EC1A pour l'entrée de la valeur instantanée de tension V_t à l'instant t ,

45

une couche cachée de 5 cellules neuronales, incluant une première cellule neuronale cachée NCOA pour l'entrée d'une valeur de seuil choisie à -1, et quatre cellules neuronales cachées notées NC1A à NC4A, et une couche de sortie ayant une cellule neuronale unique notée NSA.

50 Donc, on remarque que, durant la procédure d'apprentissage du premier réseau de neurones NN1, son entrée EC1A collecte une valeur de tension instantanée V_t , alors que cette même entrée collecte la valeur de seuil critique de tension V_{TH} lors de l'usage courant.

La structure et l'équation de fonctionnement de chaque neurone caché, noté NC1A à NC4A, sont celles d'un neurone formel "standard", et sont illustrées par la FIG.6A, qui montre la cellule cachée NC1A, à titre d'exemple.

55

Chaque neurone caché donné NCiA reçoit d'une part en entrée la tension instantanée V_t avec un poids, ou coefficient synaptique d'entrée, qui est l'un des 13 poids référencé W_{jA} , et reçoit d'autre part un seuil ayant pour valeur la constante "-1", affecté d'un autre des 13 poids référencé W_{jA} . L'indice "i" est l'indice 1 à 4 de la cellule neuronale cachée NC1A à NC4 concernée. Chaque neurone caché NCiA réalise une somme pondérée, notée Σ , des entrées affectées d'un des poids W_{jA} , et calcule une sortie intermédiaire $E_i(V_t)$.

Chaque neurone caché NC1A à NC4A transfère cette sortie intermédiaire $E_i(V_t)$, à travers une fonction d'activation notée S_i , et il calcule une sortie notée $S_i(V_t)$ selon la relation (2a) :

$$S_i(V_t) = S_i[E_i(V_t)] \quad (2a)$$

Il reste alors à mieux définir la fonction d'activation $S_i(V_t)$ de chaque neurone caché. On peut adopter comme fonction d'activation possible, une fonction choisie dans l'ensemble des fonctions non linéaires.

La fonction d'activation S_i est de préférence une fonction sigmoïde "tanh" égale à la fonction tangente hyperbolique, qui est très bien adaptée à la forme des courbes de décharge à construire, comme on le montrera ultérieurement.

Dans la couche cachée, les 4 cellules neuronales CN1A à CN4A montrent donc dans l'exemple décrit, une fonction non linéaire "tanh".

La structure de l'unique neurone de sortie NSA est illustrée par la FIG.6B. Il réalise une somme pondérée, notée Σ , des sorties $S_i(V_t)$ de tous les neurones cachés NCiA, en utilisant des coefficients synaptiques W_{jA} , somme à laquelle s'ajoute la valeur d'un seuil "-1" provenant de la cellule cachée NCOA, cette valeur de seuil étant introduite dans le neurone de sortie NSA à travers l'un des coefficients synaptiques W_{jA} .

Ce neurone de sortie effectue donc d'abord la somme pondérée Σ qui donne une sortie intermédiaire $E_s(V_t)$.

Puis, le neurone de sortie NSA transfère cette sortie intermédiaire $E_s(V_t)$, à travers une fonction d'activation notée L_s , et il calcule une sortie finale notée $F_w(V_t)$ selon la relation (3a) :

$$F_w(V_t) = L_s[E_s(V_t)] \quad (3a)$$

La fonction d'activation L_s de ce neurone de sortie est choisie linéaire. La sortie du neurone de sortie est la fonction F_w que l'on cherche à générer.

Les notations des poids de chaque neurone caché NCiA sont indiqués sur la FIG.2A, ainsi que les notations des poids d'entrée du neurone de sortie NSA. L'ensemble de ces poids notés W_{1A} à W_{13A} est formé par l'ensemble des 13 poids W_{jA} transmis par les second et troisième réseaux de neurones NN2 et NN3 montés en parallèle dont les sorties sont couplées par le calculateur 160 à fonction d'additionneur.

En référence avec la FIG.4A, une courbe conventionnelle de décharge d'une batterie cadmium-nickel prise à titre d'exemple, donne la tension instantanée V_t en volt en fonction du temps t en minutes. Cette courbe montre une forte pente dans la première période de fonctionnement de la batterie, par exemple les 100 premières minutes, puis une pente faible entre 100 et 500 minutes d'utilisation, et enfin à nouveau une forte pente au-delà de 500 minutes. Bien entendu, cette courbe de décharge est donnée tout à fait à titre d'exemple.

Mais, dans le présent système, on rappelle que le premier réseau de neurones NN1 doit subir un apprentissage conduisant à fournir un temps t qui est une fonction F_w de la tension V_t de la batterie.

C'est pourquoi, un exemple de courbe de décharge qui intéresse la présente description est représenté sur la FIG.4B. Cette courbe montre le temps t en fonction de la tension de batterie V_t . Cette courbe de la FIG.4B est tracée simplement en portant les valeurs qui étaient en abscisse sur la FIG.4A, en ordonnée sur la FIG.4B ; et en portant les valeurs qui étaient en ordonnée sur la FIG.4A en abscisse sur la FIG.4B. On peut constater que cette courbe de décharge a une forme approchant la forme d'une courbe "tanh". C'est pourquoi, les fonctions du type des sigmoïdes sont préférées pour réaliser les fonctions d'activation dans les neurones de la couche cachée.

La FIG.4B fournit donc une courbe de décharge donnant le temps t en minutes en fonction de la tension V_t en volt qui montre des parties extrêmes quasiment planes et une partie intermédiaire ayant une pente abrupte. C'est pourquoi, dans le premier réseau de neurones NN1, la modélisation de la partie intermédiaire des courbes de décharge de la relation (1a) est effectuée par les deux premières cellules neuronales CN1A, CN2A de la couche cachée, dont les fonctions d'activation ont respectivement une pente forte ; alors que la modélisation des parties extrêmes de ces courbes est effectuée par les cellules neuronales cachées suivantes CN3A, CN4A, qui montrent une fonction d'activation à pente moins forte.

La présence de cellules cachées ayant des fonctions d'activation montrant des pentes très nettement différentes revient à spécialiser chaque cellule cachée dans la réalisation de tâches différentes prédéterminées. Il est clair que le réseau de neurones NN1 pourrait apprendre la tâche de fournir la fonction F_w avec le même niveau de performance, sans que cette spécialisation existe. Mais, selon l'invention, il a été trouvé que la phase d'apprentissage du réseau de neurones NN1 se trouve considérablement raccourcie du fait que chaque cellule est dédiée à une tâche prédéterminée.

Les pentes des fonctions d'activation S_i des cellules cachées NC1A, NC2A peuvent être par exemple 7.0, et les pentes de fonctions d'activation des cellules cachées suivantes NC2A, NC4A peuvent être par exemple 2.0.

Pour l'apprentissage du premier réseau de neurones NN1, des courbes de temps t de décharge en fonction de la tension $V(t)$ de décharge sont enregistrées par exemple toutes les minutes pour un grand nombre N de cycles de décharge, et pour un grand nombre de batteries 110 du même type, par exemple des batteries cadmium-nickel.

Dans un exemple, 20 batteries sont utilisées, et subissent 140 cycles de décharge-charge. Une batterie est considérée comme totalement chargée quand sa tension V_0 est de 9V, et est considérée comme ayant atteint le seuil critique

de décharge quand sa tension atteint $V_{TH} = 6V$. Par cette méthode, $20 \times 140 = 2800$ courbes de décharge sont enregistrées, de telle manière que chaque courbe fournit 1600 points.

Chaque courbe est enseignée à un réseau NN1 différent. Ainsi dans la phase d'apprentissage, 2800 réseaux sont initialisés, c'est-à-dire 1 réseau par courbe. Dans chaque courbe, par exemple la moitié des points, c'est-à-dire 800 points, est utilisée pour l'apprentissage du réseau de neurone NN1 correspondant et, l'autre moitié des points, c'est-à-dire 800 autres points, est utilisée pour tester ledit réseau de neurones NN1.

A l'issue de cet entraînement comprenant la phase d'apprentissage et les tests, les 13 poids W_{JA} de chacun des 2800 réseaux de neurones NN1 sont mémorisés dans une zone de mémoire vive RAM, référencée 170b sur la FIG.5B.

A partir de là, les valeurs des lots de 13 poids W_{JA} en mémoire vont constituer une base de données pour l'apprentissage du second réseau de neurones NN2.

La tâche du second réseau de neurones NN2 est d'apprendre une relation entre des paramètres dépendant de la tension de décharge de la batterie. Ainsi, le second réseau de neurones NN2 reçoit :

No le nombre de cycles initial,
Vo la première tension enregistrée de la courbe de décharge concernée,
et ΔVo la pente à l'origine de cette courbe de décharge, et doit pouvoir calculer, à partir de ces mesures, les 13 poids W_{JA} nécessaires au fonctionnement du premier réseau de neurones NN1. Cette relation s'exprime par la fonction G de la relation (4a) :

$$W_{JA} = G(Vo, \Delta Vo, No) \quad (4a)$$

En référence avec la FIG.2B, la structure du second réseau de neurones NN2 est dictée par sa tâche. Ce réseau de neurones NN2 comprend :

une couche d'entrée avec 3 cellules d'entrée EC1B, EC2B, EC3B, pour les valeurs Vo, ΔVo et No, plus une cellule d'entrée EC0B pour un seuil à -1 ;
13 cellules de sortie NS1B à NS13B pour respectivement chacun de 13 paramètres approximatifs W_{JB} de valeurs voisines de la valeur recherchée des poids du premier réseau de neurones ;
une seule couche cachée avec 8 cellules neuronales cachées notées NC1B à NC8B, plus une cellule cachée NC0B pour un seuil à -1.

Selon l'invention, les entrées constituées par les valeurs initiales Vo et ΔVo ont été spécifiquement choisies parce qu'il est apparu que c'était les valeurs les plus sensibles aux caractéristiques de la batterie.

La troisième entrée constituée par le nombre initial No de cycles a été également spécifiquement choisie parce qu'elle permet de prendre en compte un effet de vieillissement de la batterie, du fait que plus une batterie a subi de cycles de décharge-charge, moins il lui reste de temps de vie, c'est-à-dire moins l'effet de la recharge est efficace et plus le temps de décharge est rapide. Cet effet de vieillissement est illustré par la FIG.4C, qui montre en γ , des points mesurés correspondant au temps de décharge t_{TH} pour atteindre le seuil critique V_{TH} à partir de l'instant initial t_0 , en fonction du nombre initial de cycles No. Ces mesures γ montrent que plus le nombre de cycles déjà effectués est grand, plus le temps de décharge t_{TH} est court.

Les coefficients synaptiques ou poids, référencés W_{nB} de ce second réseau de neurones sont fixés lors de sa phase d'apprentissage et sont mis en mémoire dans la zone de mémoire morte ROM 170a, représentée sur la FIG.5B.

Des essais appliqués au réseau de neurones NN2 ont montré qu'un tel réseau muni de 8 cellules cachées, ayant pour fonction d'activation une fonction non linéaire tangente hyperbolique "tanh" est capable de mener à bien la tâche qui lui est assignée.

Il faut noter que, à la différence de la cellule de sortie NSA du premier réseau de neurone, les cellules de sortie, notées NS1B à NS13B du second réseau de neurone NN2 ont une fonction d'activation non linéaire, de préférence "tanh".

Comme le premier réseau de neurones NN1, ce second réseau de neurones NN2 a des cellules cachées dont la pente de la fonction d'activation sigmoïde est différente d'une cellule à l'autre. Ce mode de réalisation permet de ne pas utiliser un nombre important de cellules cachées.

Ainsi, le second réseau de neurones NN2 est entraîné en utilisant 1400 vecteurs de 13 valeurs de poids générés par l'apprentissage du premier réseau de neurones NN1 au moyen des 2800 courbes enregistrées, et les 1400 autres vecteurs générés sont utilisés pour les tests.

La procédure de test est réalisée de la manière suivante : pour les 1400 vecteurs qui n'appartiennent pas au lot d'apprentissage, les valeurs initiales correspondantes Vo, ΔVo et No sont appliquées aux entrées du second réseau de neurones. Celui-ci calcule un vecteur de sortie de 13 valeurs de poids W_{JB} comme il a été entraîné à le faire.

Poursuivant cette procédure de test, ces 13 valeurs de poids W_{JB} sont imposées à un réseau de neurone NN1, en même temps que la valeur critique prédéterminée de tension de décharge $V_{TH} = 6$ volts est appliquée à son entrée EC1A. Ce premier réseau de neurone NN1 calcule alors la valeur prédictive automatiquement adaptée de temps de

décharge t_{TH} qui est comparée à celle de la courbe de test.

En référence avec la FIG.4C, on montre en α , une courbe prédictive de temps de décharge en fonction du nombre de cycles No , ainsi obtenue.

Dans la phase d'apprentissage décrite plus haut, on n'a pas tenu compte de la présence du troisième réseau de neurones NN3.

En référence avec la FIG.4C, si ce troisième réseau de neurones NN3 n'est pas mis dans le circuit, la courbe α donnant l'indication prédictive du temps t_{TH} de décharge en fonction du nombre de cycles No diffère d'une courbe s'appuyant sur les mesures réelles γ , c'est-à-dire que le système de contrôle fait une erreur moyenne d'environ 10 mn dans la détermination prédictive de l'instant t_{TH} où la batterie atteindra le seuil de tension critique V_{TH} .

Il est donc important de corriger cette erreur affectant la détermination prédictive de cet instant t_{TH} .

Cette erreur peut être corrigée en corrigeant les poids imposés pour le fonctionnement du premier réseau de neurones. Ceci est fait en ne fournissant pas directement au premier réseau de neurones NN1 les paramètres W_{JB} calculés par le second réseau de neurones NN2, parce qu'ils sont approximatifs et entraînent l'erreur qu'on a citée. Ceci est donc fait en corrigeant respectivement ces paramètres approximatifs W_{JB} par des paramètres de correction W_{JC} , fournis par le troisième réseau de neurones NN3, et en nombre égal aux paramètres approximatifs W_{JB} .

Pour aboutir aux meilleurs poids W_{JA} du premier réseau de neurones NN1, les paramètres approximatifs W_{JB} et les paramètres de correction W_{JC} sont additionnés par le calculateur 160 dans sa fonction d'additionneur et le résultat est imposé à ce premier réseau de neurones NN1.

En référence avec la FIG.1B, dans la phase d'apprentissage, le troisième réseau de neurones NN3 apprend à calculer ses propres coefficients synaptiques, ou poids, comme des valeurs adaptatives, pour lui permettre de calculer les paramètres de corrections W_{JB} qui, additionnés aux paramètres approximatifs W_{JA} fournis par le second réseau de neurones NN2, vont constituer les coefficients synaptiques ou poids les mieux adaptés au fonctionnement du premier réseau de neurones NN1. Ainsi, ce premier réseau de neurones NN1 munis de ces poids W_{JA} adaptés pourra fournir, durant la décharge, une indication prédictive de l'instant critique t_{TH} plus proche de la valeur réelle.

Par exemple, avec l'utilisation de ce troisième réseau de neurones, la différence entre l'indication prédictive β de t_{TH} et la valeur mesurée γ est abaissée à environ 1 minute comme démontré par les courbes de la FIG.4C. Cela est un grand avantage dans l'obtention de la précision des indications prédictives, puisque le système de contrôle passe d'une erreur de 10 mn sur les environs 570 mn de durée d'une décharge, à 1 mn sur ces 570 mn.

Le système de contrôle ainsi constitué devient donc d'une très grande précision.

En référence avec la FIG.2C, le troisième réseau de neurones NN3 reçoit :

No le nombre de cycles initial,

Vo la première tension enregistrée de la courbe de décharge concernée,

et ΔVo la pente à l'origine de cette courbe de décharge, et doit pouvoir calculer, à partir de ces mesures, les 13 paramètres de correction W_{JC} coopérant à fournir, avec les 13 poids approximatifs W_{JB} , les poids W_{JA} nécessaires au fonctionnement du premier réseau de neurones NN1.

En référence avec la FIG.2C, la structure du troisième réseau de neurones NN3 est dictée par sa tâche. Ce réseau de neurones NN3 comprend :

une couche d'entrée avec 3 cellules d'entrée EC1C, EC2C, EC3C, pour les valeurs Vo , ΔVo et No , plus une cellule d'entrée EC0C pour un seuil à -1 ;

13 cellules de sortie NS1C à NS13C pour respectivement chacun de 13 paramètres de correction W_{JC} . Ces cellules de sortie ont des fonctions d'activation identiques à celles des cellules de sortie correspondante du second réseau de neurones NN2, c'est-à-dire des fonctions sigmoïdes "tanh" de même pente respectivement ;

une seule couche cachée avec 1 cellule neuronale cachée notée AU, sans cellule cachée pour un seuil.

Le troisième réseau de neurones nécessite, pour son fonctionnement, 4 coefficients synaptiques en entrée et 13 coefficients synaptiques en sortie, soit en tout 17 coefficients synaptiques notés W_{kC} , où k est un indice de 1 à 17.

En référence avec la FIG.3, dont la légende est au Tableau III, qui représente un diagramme de blocs illustrant le déroulement de la procédure d'apprentissage du troisième réseau de neurones NN3, cette procédure comprend :

1) Une première étape illustrée par le bloc 1, qui correspond à une première phase de décharge PD1 ; durant cette étape :

- le second réseau de neurones reçoit des valeurs initiales Vo , ΔVo , et No et calcule des paramètres approximatifs W_{JB} ,

- une zone de mémoire vive (RAM) 170 b enregistre des mesures instantanées fournies, en référence avec la FIG.5A par des moyens de mesure du temps 150a, et par des moyens de mesure de tension 150b de la batterie rechargeable 110 ; ces mesures instantanées sont enregistrées à chaque instant courant de ladite première phase de décharge PD1, par exemple toutes les minutes, et comprennent la mesure de l'instant courant

t et de la valeur de tension correspondante V_t .

2) Une deuxième étape illustrée par le bloc 2, d la FIG.3 et par la FIG.1B, qui est menée à bien durant le temps laissé libre pour le calculateur 160 et pour les réseaux de neurones correspondant à une première phase de charge PC1 consécutive à la fin de la première phase de décharge PD1 ; durant cette étape, sont menées à bien trois sous-étape :

2a) une sous-étape illustrée par le bloc 2a pendant laquelle :

les lots de valeurs de mesures instantanées V_t , t mesurées à chaque instant courant de la phase de décharge précédente PD1, sont imposées au premier réseau de neurones NN1, de manière telle que : la mesure instantanée de tension V_t est imposée à l'entrée EC1A du premier réseau de neurones NN1, la mesure instantanée de l'instant correspondant t est imposée à la sortie NSA du premier réseau de neurones NN1.

Par une méthode de rétropropagation connue de l'état de l'art des réseaux de neurones, le premier réseau de neurones NN1 calcule ses 13 poids internes correspondant à ces valeurs réelles instantanées imposées. Ces 13 poids calculés sont appelés poids réels et notés W_jA^* . Ces poids W_jA^* sont les 13 meilleures valeurs possibles de paramètres de fonctionnement du premier réseau de neurones NN1 correspondant à la courbe de décharge réelle enregistrée durant la phase de décharge précédente PD1.

2b) Une sous-étape illustrée par le bloc 2b menée à bien encore durant la phase de charge PC1, pendant laquelle :

ces 13 meilleures valeurs de poids réels W_jA^* sont ensuite fournies au calculateur 160. Ce calculateur 160 reçoit également les 13 paramètres approximatifs W_jB qui avaient été calculés par le second réseau de neurones NN2 pendant la phase de décharge précédente PD1.

Dans cette seconde sous-étape 2b, le calculateur 160, dans sa fonction d'additionneur, effectue respectivement la différence entre ces 13 valeurs de poids réels W_jA^* et ces 13 paramètres approximatifs W_jB , de manière à calculer 13 paramètres d'erreurs notés W_jC^*

$$W_jC^* = W_jA^* - W_jB$$

où on rappelle que j est un nombre de 1 à 13 correspondant au nombre de poids nécessaires au fonctionnement du premier réseau de neurones dans cet exemple.

2c) Une sous-étape illustrée par le bloc 2c, menée à bien toujours durant la phase de charge PC1, et pendant laquelle :

ces 13 paramètres d'erreurs W_jC^* sont imposés respectivement aux 13 sorties NS1C à NS13C du troisième réseau de neurones NN3, tandis que les valeurs initiales V_0 , ΔV_0 et N_0 utilisées lors de la phase de décharge précédente PD1 sont imposées à ses entrées EC1C à EC3C.

Ces 13 paramètres d'erreurs W_jC^* sont en fait les meilleures sorties possibles du troisième réseau de neurones NN3.

Par la méthode de rétropropagation connue, le troisième réseau de neurones NN3 calcule alors ses propres coefficients synaptiques adaptatifs notés W_kC , qui sont stockés dans une zone de mémoire vive RAM 170b.

3) Cette troisième étape correspond à un second cycle de décharge-charge commençant par une nouvelle phase de décharge notée PD2.

Dans cette nouvelle phase de décharge PD2, les coefficients synaptiques adaptatifs W_kC , où k est un nombre de 1 à 17, correspondant à la structure du troisième réseau de neurones, représentée sur la FIG.2C, qui ont été calculés pendant la phase de charge PC1 du cycle précédent, sont conservés pour une nouvelle détermination des coefficients synaptiques du premier réseau de neurones NN1, comme décrit précédemment, en procédure de fonctionnement du système de contrôle.

Avec ces coefficient synaptiques adaptatifs W_kC ainsi calculés, le troisième réseau de neurones NN3 fournit dans cette nouvelle phase de décharge PD2, des paramètres de correction W_jC particulièrement bien adaptés à la correction des paramètres approximatifs W_jB fournis par le second réseau de neurones NN2.

Le calculateur 160 effectue cette correction en réalisant l'addition $WjB + WjC$ qui fournit des nouveaux coefficients synaptiques mieux adaptés pour le premier réseau de neurones NN1 dans cette deuxième phase de décharge.

Modes opératoires du système de contrôle de batterie rechargeable

5

Le système de contrôle 100 a trois modes opératoires appelés mode d'initialisation, mode d'usage courant, et mode adaptatif.

Le mode d'initialisation est mis en oeuvre chaque fois que la batterie 110 a terminé une procédure de charge d'un cycle de décharge-charge, et qu'elle commence alors un nouveau cycle commençant par une phase de décharge.

10 Dès que la batterie 110 est mise en service, la tension initiale V_0 est aussitôt enregistrée. Puis, à l'instant t_0 , après qu'un très petit laps de temps $t_0 - t'_0 = \Delta t_0$ s'est écoulé, de préférence exactement 1 minute, la tension de batterie est à nouveau enregistrée donnant une valeur notée V'_0 , et la différence de tension initiale $V_0 - V'_0 = \Delta V_0$ est calculée, par exemple par le calculateur à fonction additionneur 160 montré sur les FIG.5A et 5B. Ensuite, les deux valeurs V_0 et ΔV_0 , en même temps que le nombre initial N_0 des cycles déjà effectués, nombre qui est calculé par incrémentation par le calculateur 160, sont fournis à l'entrée du second réseau de neurones NN2 qui calcule alors le vecteur de 13 valeurs de poids WjB à appliquer au premier réseau de neurones NN1A.

15 Le mode d'usage courant est mis en oeuvre pendant la phase de décharge elle-même. Dans ce mode d'usage courant, la tension instantanée V_t est mesurée et stockée toute les minutes pour la réactualisation ultérieure des poids du troisième réseau de neurones. Le laps de temps restant Δt_{TH} avant que la batterie n'atteigne ce seuil critique prédéterminé de tension $V_{TH} = 6V$ est calculé comme une différence entre un temps t_{TH} et un temps t ,

où t_{TH} est la sortie du réseau NN1A quand son entrée est mise à $V_{TH} = 6V$,

et où t est l'instant mesuré par les moyens de mesure 150a. Les indications de temps t_{TH} ou de laps de temps Δt_{TH} sont donc fournies toutes les minutes.

Le mode adaptatif est mis en oeuvre durant la phase de charge et comprend le calcul de nouveaux poids synaptiques 25 Wkc pour le troisième réseau de neurones NN3, à partir de valeurs instantanées réelles V_t , t imposées au premier réseau de neurones NN1, à partir du calcul des paramètres réels WjA^* et du calcul des paramètres d'erreur WjC^* reportés sur le troisième réseau de neurones NN3, selon la procédure décrite plus haut en référence avec les FIG.1B et FIG.3.

D'une manière générale, en référence avec la FIG.5A dont la légende est au Tableau I, le système de contrôle 100 30 est mis en oeuvre par un microprocesseur 160 pour réaliser les calculs, et des zones mémoire 170a, 170b pour mémoriser les données. Ces zones mémoire sont accessibles par le microprocesseur 160 et incluent une zone mémoire de stockage ROM 170a pour stocker les données de structure des réseaux de neurones NN1, NN2 et NN3, les paramètres fixes et les poids WnB du second réseau de neurones, et une zone de mémoire vive RAM 170b pour enregistrer ou fournir selon le cas les mesures variables et les vecteurs de poids WjA , WjC , WjA^* , WjC^* du premier et du troisième réseaux de neurones. Le microprocesseur 160 effectue les calculs nécessaires au fonctionnement du système de contrôle. 35

En référence avec la FIG.5B, dont la légende est au Tableau II, le système de contrôle 100 est couplé à des moyens d'affichage 140 pour fournir à l'utilisateur une indication du temps t_{TH} ou bien du laps de temps Δt_{TH} restant à courir à partir d'un instant courant t d'utilisation jusqu'à l'instant où la batterie atteindra ce seuil de tension critique prédéterminé V_{TH} , ou bien les deux indications. Les moyens d'affichage 140 peuvent en outre afficher l'heure, c'est-à-dire 40 une indication de l'instant courant ; ces moyens d'affichage peuvent en outre afficher une indication à l'issue de la phase de charge consécutive à la phase de décharge de la batterie, que cette phase de charge est terminée, lorsque la batterie a atteint la tension initiale $V_0 = 9V$ par exemple.

Comme cité précédemment, le système de contrôle 100 fait partie d'un dispositif hôte 130 qui comprend des 45 moyens de connexion D1, D2 pour la batterie rechargeable 110. La batterie rechargeable 110 est couplée au système de contrôle 100 pour former la batterie intelligente 120. Le dispositif hôte 130 abrite en outre les moyens de mesure 150, par exemple un multimètre, le microprocesseur 160, les zones mémoire 170a, 170b accessibles par le microprocesseur 160 et les moyens d'affichage 140.

Pour la réalisation des moyens d'affichage, plusieurs dispositifs connus de l'état de la technique sont utilisables. Un 50 dispositif peut être un écran avec des indications écrites, ou avec des indications dessinées, ou encore un panneau formé de diodes.

55

TABLEAU I

(FIG.5A)	
150a	Moyens de mesure du temps t_o , $t_o + \Delta t_o$, t
150b	Moyens de mesure des tensions V_o , $V_o + \Delta V_o$, V_t
110	Batterie rechargeable
160	Microprocesseur pour effectuer les calculs $\Delta t_{TH} = t - t_{TH}$, $W_j A = W_j b + W_j c$, $W_j c^* = W_j A^* - W_j B$, $\Delta V_o = V_o - V_o^*$, N_o
NN1	Premier réseau de neurones
NN2	Second réseau de neurones
NN3	Troisième réseau de neurones
170	Zones de mémoire

TABLEAU II

(FIG.5B)	
130	Dispositif hôte
D1, D2	Connexion du dispositif hôte et de la batterie
110	Batterie rechargeable
150	Moyens de mesure du temps, et des tensions
160	Microprocesseur pour effectuer les calculs
170a	Zone de mémoire morte (ROM)
170b	Zone de mémoire vive (RAM)
100	Système de contrôle de batterie
120	Batterie intelligente
140	Moyens d'affichage de l'instant courant et des temps calculés, et éventuellement de fin de charge.

TABLEAU III (FIG.3 et FIG.1B)

5	1	Phase de décharge PD1 Fonctionnement en initialisation et usage courant 150a, 150b } Vo, Δto, No Valeurs initiales fournissent Vt,t Valeurs instantanées NN2 fournit WjB poids approximatifs	
10	2	Phase de charge PC1 suivante Apprentissage de NN3 pour adaptativité	
15		2a	NN1 reçoit Vt en entrée t en sortie fournit WjA* poids réels
20		2b	160 reçoit WjA*, WjB fournit les paramètres d'erreurs WjC* = WjA*-WjB
25		2c	NN3 reçoit Vo, ΔVo, No en entrée WjC* en sortie fournit ses propres poids adaptatifs WkC
30	3	Phase de décharge suivante Fonctionnement en initialisation puis usage courant	
35			

Revendications

- 45 1. Système de contrôle (100) des cycles de décharge-charge d'une batterie couplé à une batterie rechargeable (110) ayant des phases de charge alternant avec des phases de décharge selon des cycles de décharge-charge, ce système comprenant :

50 des premiers moyens de calcul adaptatifs (NN1) qui sont arrangés pour collecter, au commencement d'une phase de décharge d'un cycle de décharge-charge de la batterie, un lot de paramètres de fonctionnement appelés premiers paramètres (WjA), et pour recevoir en entrée une valeur prédéterminée d'un seuil critique (V_{TH}) de tension de décharge, et qui sont arrangés pour fournir en sortie une indication prédictive calculée de l'instant (t_{TH}) où la batterie atteindra ce seuil critique (V_{TH}) correspondant à la fin de cette phase de décharge,

55 ce système comprenant aussi :

des seconds et des troisièmes moyens de calcul adaptatifs (NN2, NN3), couplés aux premiers moyens de calcul, qui sont arrangés pour recevoir, en entrée, à un instant initial, au commencement de ladite phase de décharge de la batterie, une valeur de la tension de batterie appelée tension initiale (V_0), une valeur d'une variation (ΔV_0) de cette tension initiale après un court laps de temps à partir de cet instant initial, et une valeur du nombre

initial (No) de cycles de décharge-charge de cette batterie, effectués antérieurement à ladite phase de décharge, et qui sont arrangés pour fournir en sortie, dès l'instant de ladite phase de décharge où les valeurs initiales sont disponibles, respectivement, un lot de paramètres approximatifs et un lot de paramètres correspondants de correction (WjC) qui sont additionnés pour fournir lesdits premiers paramètres de fonctionnement (WjA) imposés auxdits premiers moyens de calcul (NN1).

2. Système de contrôle selon la revendication 1, dans lequel, en outre, comprenant aussi une zone de mémoire vive (170b) pour enregistrer durant ladite phase de décharge, des lots de valeurs réelles instantanées formés chacun d'une mesure de la tension de décharge (Vi) de la batterie et l'instant courant (ti) correspondant à cette mesure, et un calculateur (160), système dans lequel, durant la phase de charge (PC1) de la batterie qui suit ladite phase de décharge (PD1) du cycle de décharge-charge concerné :

les premiers moyens de calcul (NN1) sont en outre arrangés pour calculer A POSTERIORI de manière autonome et fournir des paramètres appelés paramètres réels (WjA*) qui correspondent au fonctionnement de ces premiers moyens de calcul (NN1) dans la situation où les lots de valeurs réelles instantanées leurs sont imposés, avec la mesure de tension (Vi) de décharge imposée en entrée et l'instant courant (ti) correspondant imposé en sortie,

le calculateur (160) est arrangé pour recevoir lesdits paramètres approximatifs (WjB) calculés par les seconds moyens de calcul (NN2) durant la phase de décharge (PD1), et lesdits paramètres réels (WjA*) calculés par les premiers moyens de calcul (NN1) durant la phase de charge (PC1), et pour fournir des différences respectives entre ces paramètres, appelées paramètres d'erreurs (WjC*),

et les troisièmes moyens de calcul (NN3) sont arrangés pour calculer de manière autonome des paramètres appelés paramètres adaptatifs (WkC) qui correspondent au fonctionnement de ces troisièmes moyens de calcul dans la situation où les paramètres d'erreurs (WjC*) leur sont imposés en sortie, alors que les valeurs initiales (Vo, ΔVo, No) de la phase de décharge (PD1) antérieure leur sont imposées en entrée,

et système dans lequel, les troisièmes moyens de calcul (NN3) conservent comme paramètres de fonctionnement, dans la phase de décharge ultérieure du cycle de décharge-charge suivant, les paramètres adaptatifs (WkC), calculés dans ladite phase de charge (PC1).

3. Système de contrôle selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel :

les premier, second et troisième moyens de calcul (NN1, NN2, NN3) sont constitués respectivement par un premier, second et troisième réseaux de neurones, les premiers paramètres de fonctionnement sont les coefficients synaptiques (WjA) du premier réseau de neurones, le premier réseau de neurone (NN1) ayant une cellule d'entrée (EC1A) pour une valeur de tension, et une cellule de sortie (NSA) pour une valeur de temps,

le second réseau de neurone ayant trois cellules d'entrée (NE1B, NE2B, NE3B) pour lesdites valeurs initiales (Vo, ΔVo, No) et un nombre de cellules de sortie (NE1B-NE13B) pour les paramètres approximatifs (WjB) en nombre égal au nombre des coefficients synaptiques (WjA) du premier réseau de neurones (NN1),

et le troisième réseau de neurones (NN3) ayant trois cellules d'entrée (NE1C, NE2C, NE3C) pour lesdites valeurs initiales (Vo, ΔVo, No) et un nombre de cellules de sortie (NS1C-NS13C) pour les paramètres de correction (WjC) en nombre égal au nombre des coefficients synaptiques (WjA) du premier réseau de neurones (NN1), et dans lequel :

le calculateur (160) est arrangé pour recevoir et additionner les paramètres approximatifs (WjB) et les paramètres de correction (WjC) et pour fournir lesdits coefficients synaptiques (WjA) imposés au premier réseau de neurones (NN1).

4. Système de contrôle selon la revendication 3, dans lequel :

le premier réseau de neurones (NN1) réalisant les premiers moyens de calcul, est arrangé pour calculer, durant la phase de charge (PC1) qui suit la phase de décharge (PD1) du cycle de décharge-charge concerné, par une méthode de rétropropagation, des paramètres réels (WjA*) qui sont ses propres coefficients synaptiques réels dans la situation où, pour chaque lot de valeurs réelles instantanées, la mesure de tension (Vi) de décharge est imposée à son entrée, et l'instant courant (ti) correspondant est imposé à sa sortie, le calculateur (160) est arrangé pour fournir les paramètres d'erreurs (WjC*) formés par les différences respectives entre lesdits coefficients synaptiques réels (WjA*) calculés par le premier réseau de neurones (NN1) durant ladite phase de charge (PC1), et lesdits paramètres approximatifs (WjB) calculés par le second réseau

- de neurones (NN2) pour ladite phase de décharge (PD1) antérieure,
le troisième réseau de neurones (NN3) réalisant les troisième moyens de calcul, est arrangé pour calculer, par une méthode de rétropropagation, des paramètres adaptatifs (WkC) qui sont ses propres coefficients synaptiques adaptatifs, dans la situation où les paramètres d'erreurs (WkC*) sont imposés à ses sorties et les valeurs initiales (Vo, ΔVo , No) de la phase de décharge (PD1) antérieure sont imposées à ses entrées,
5 ce troisième réseau de neurones (NN3) conservant, dans la phase de décharge (PD2) ultérieure du cycle de décharge-charge suivant, ces coefficients synaptiques adaptatifs (WkC), calculés dans ladite phase de charge.
- 10 5. Système de contrôle selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel ; le calculateur (160) est aussi arrangé pour calculer et fournir, à chaque instant courant (t), à partir de la mesure de cet instant courant (t) et à partir de l'indication prédictive de l'instant critique (t_{TH}) fournie par les premiers moyens de calcul adaptatifs, une indication prédictive du laps de temps (Δt_{TH}) restant à courir à partir de cet instant courant (t) jusqu'à l'instant critique (t_{TH}) où la batterie atteindra le seuil critique prédéterminé de tension de décharge (V_{TH}).
- 15 6. Système de contrôle selon l'une des revendications 3 ou 4, dans lequel :
- le calculateur est aussi arrangé pour calculer et fournir à chaque instant courant (t), à partir de la mesure de cet instant courant (t) et à partir de l'indication prédictive de l'instant critique (t_{TH}) fournie par le premier réseaux
20 de neurones, une indication prédictive du laps de temps (Δt_{TH}) restant à courir à partir de cet instant courant (t) jusqu'à l'instant critique (t_{TH}) où la batterie atteindra ce seuil critique prédéterminé de tension de décharge (V_{TH}).
7. Système de contrôle selon l'une des revendications 3, 4 ou 6, dans lequel le second réseau de neurones (NN2) est
25 monté en série avec le premier réseau de neurones (NN1), et dans lequel le troisième réseau de neurones (NN3) est monté en parallèle sur le second réseau de neurones.
8. Système de contrôle selon la revendication 7, dans lequel le premier réseau de neurones (NN1) a trois couches, dont une couche d'entrée d'une cellule neuronale (NE1A) pour une valeur de tension, a une couche cachée de cel-
30 lules neuronales et une couche de sortie ayant une seule cellule neuronale (NSA), les cellules de la couche cachée ayant une fonction d'activation sigmoïde de pente différente d'une cellule à l'autre, et la cellule de la couche de sortie ayant une fonction d'activation linéaire.
9. Système de contrôle selon la revendication 8, dans lequel le second réseau de neurone (NN2) a trois couches de
35 cellules neuronales, dont une couche d'entrée de trois cellules neuronales (NE1B, NE2B, NE3B) pour chacune des valeurs initiales (Vo, ΔVo , No), une couche de cellules cachées, et une couche de sortie de cellules neuronales (NS1B-NS13B), les cellules de la couche cachée (NC1B-NC8B) ayant une fonction d'activation sigmoïde de pente différente d'une cellule à l'autre, et les cellules de la couche de sortie étant en nombre égal au nombre des coeffi-
40 cients synaptiques nécessaires au fonctionnement du premier réseau de neurones et ayant une fonction d'activation sigmoïde.
10. Système de contrôle selon la revendication 9, dans lequel le troisième réseau de neurones (NN3) à trois couches
de cellules neuronales, dont une couche d'entrée à trois cellules neuronales (NE1C, NE2C, NE3C) pour chacune des valeurs initiales (Vo, ΔVo , No), une couche d'une seule cellule cachée (AJ), et une couche de sortie de cellules
45 neuronales (NS1C-NS13C), les cellules de la couche de sortie étant en nombre égal au nombre des coefficients synaptiques nécessaires au fonctionnement du premier réseau de neurones (NN1), et ayant une fonction d'activation sigmoïde.
11. Système de contrôle selon l'une des revendications 4 à 10 comprenant un microprocesseur (160) pour effectuer
50 les calculs, pour réaliser les premier, second et troisième réseaux de neurones ainsi que le calculateur, et des zones de mémoire (170a, 170b) pour mémoriser les données, ces zones de mémoire étant accessibles par le microprocesseur (160) et incluant une zone de mémoire de stockage (170a) pour stocker les données de structure des réseaux de neurones, les paramètres fixes et les coefficients synaptiques du second réseau de neurones, et une zone de mémoire vive (170b) pour enregistrer ou fournir les mesures variables, et les coefficients synaptiques
55 du premier et du troisième réseaux de neurones.
12. Système de contrôle selon l'une des revendications 1 à 11, ce système (100) étant couplé à une batterie rechargeable (110), à des moyens de mesure de temps (150a), de mesure de tension (150b), et à des moyens d'affichage (140) arrangés pour fournir soit une indication de l'instant critique (t_{TH}) où la batterie atteindra le seuil de

tension critique (V_{TH}), soit une indication du laps de temps (Δt_{TH}) restant à courir à partir d'un instant courant (t) d'utilisation jusqu'à l'instant (t_{TH}) où la batterie atteindra un seuil de tension critique prédéterminé (V_{TH}), soit les deux indications, et éventuellement une indication de la fin de phase de recharge de batterie.

5 13. Dispositif hôte (130) alimenté par une batterie rechargeable (110), et comprenant un système de contrôle (100) selon l'une des revendications 1 à 12, couplé à cette batterie.

14. Procédé d'entraînement des réseaux de neurones du système de contrôle selon l'une des revendications 7 à 12, comprenant dans une phase d'apprentissage :

10

- l'apprentissage, par le premier réseau de neurones, de courbes de temps de décharge (t) en fonction de la tension de décharge (V_t), durant lequel des tensions de décharge (V_t) sont imposées à l'entrée du premier réseau de neurones normalement destinée à la valeur de tension, et les temps (t) correspondants à la sortie, pour former une base de données constituée de vecteurs des coefficients synaptiques (W_{JA}) de ce premier réseau de neurones,

15

- l'apprentissage par le second réseau de neurones de relations entre les valeurs initiales (V_0 , ΔV_0 , N_0) et les coefficients (W_{JA}) synaptiques du premier réseau de neurones, déterminés dans sa procédure d'apprentissage,

20

- l'apprentissage du troisième réseau de neurones pour lui faire déterminer ses propres coefficients synaptiques adaptatifs (W_{KC}), cet apprentissage comprenant les étapes de :

25

1) dans la phase de décharge (PD1) d'un cycle de décharge-charge de la batterie, mémorisation des valeurs initiales (V_0 , ΔV_0 , N_0), et des valeurs réelles instantanées de tension de batterie (V_t) en fonction de l'instant courant correspondant (t), et des paramètres approximatifs (W_{JB}) fournis par le second réseau de neurones (NN2),

2) dans la phase de charge ultérieure (PC1), cet apprentissage comprenant les sous-étapes de :

30

2a) calcul par le premier réseau de neurones de ses propres coefficients synaptiques réels (W_{JA}^*) lorsque les valeurs instantanées de tension (V_t) et temps (t) sont respectivement imposées à son entrée et à sa sortie,

2b) calcul de paramètres d'erreurs (W_{JC}^*) en effectuant les différences respectives entre les paramètres réels (W_{JA}^*) et les paramètres approximatifs (W_{JB}),

35

2c) calcul par le troisième réseau de neurones (NN3) de ses propres coefficients synaptiques (W_{KC}) appelés paramètres adaptatifs, lorsque les paramètres d'erreurs (W_{JC}^*) sont imposés à sa sortie et les valeurs initiales (V_0 , ΔV_0 , N_0) sont imposées à ses entrées,

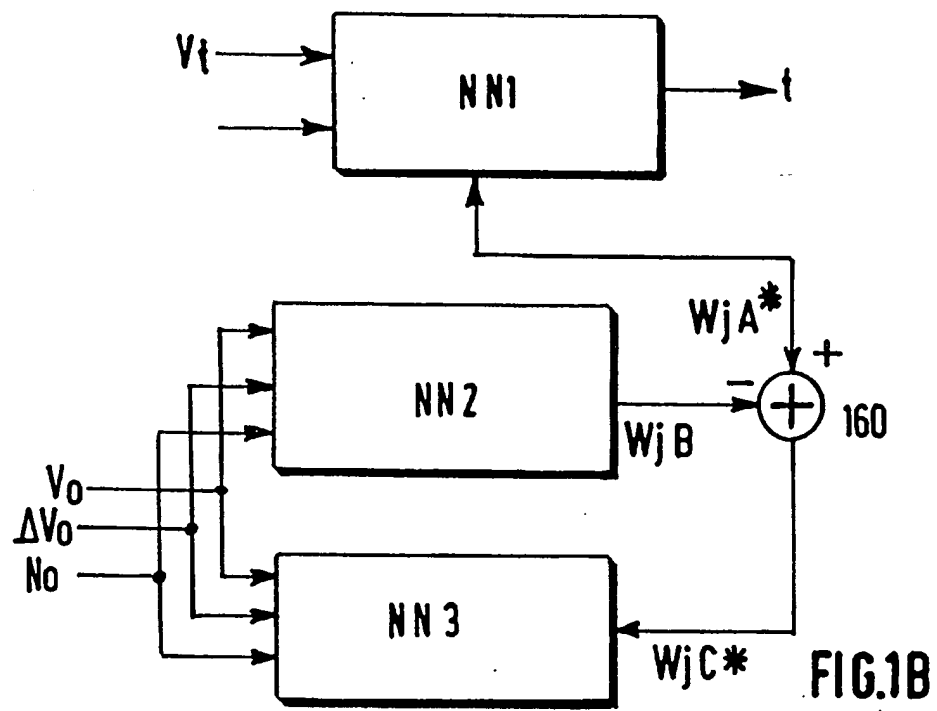
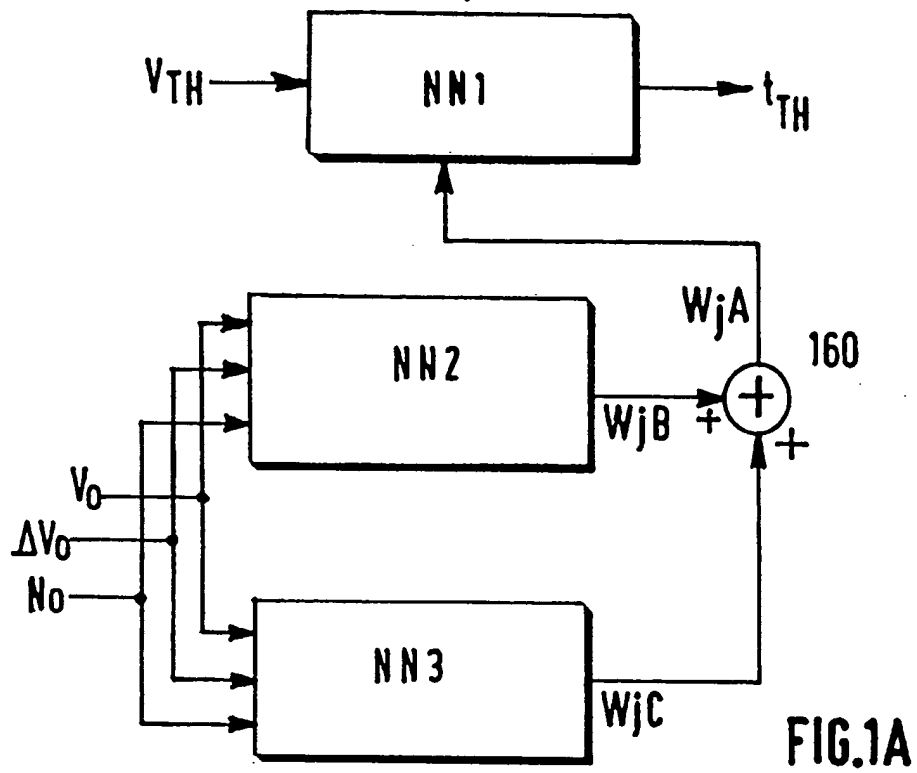
et procédé d'utilisateur du système de contrôle comprenant l'utilisation desdits paramètres adaptatifs (W_{KC}) comme coefficients synaptiques du troisième réseau de neurones (NN3) dans la phase ultérieure de décharge du cycle de décharge-charge suivant.

40

45

50

55



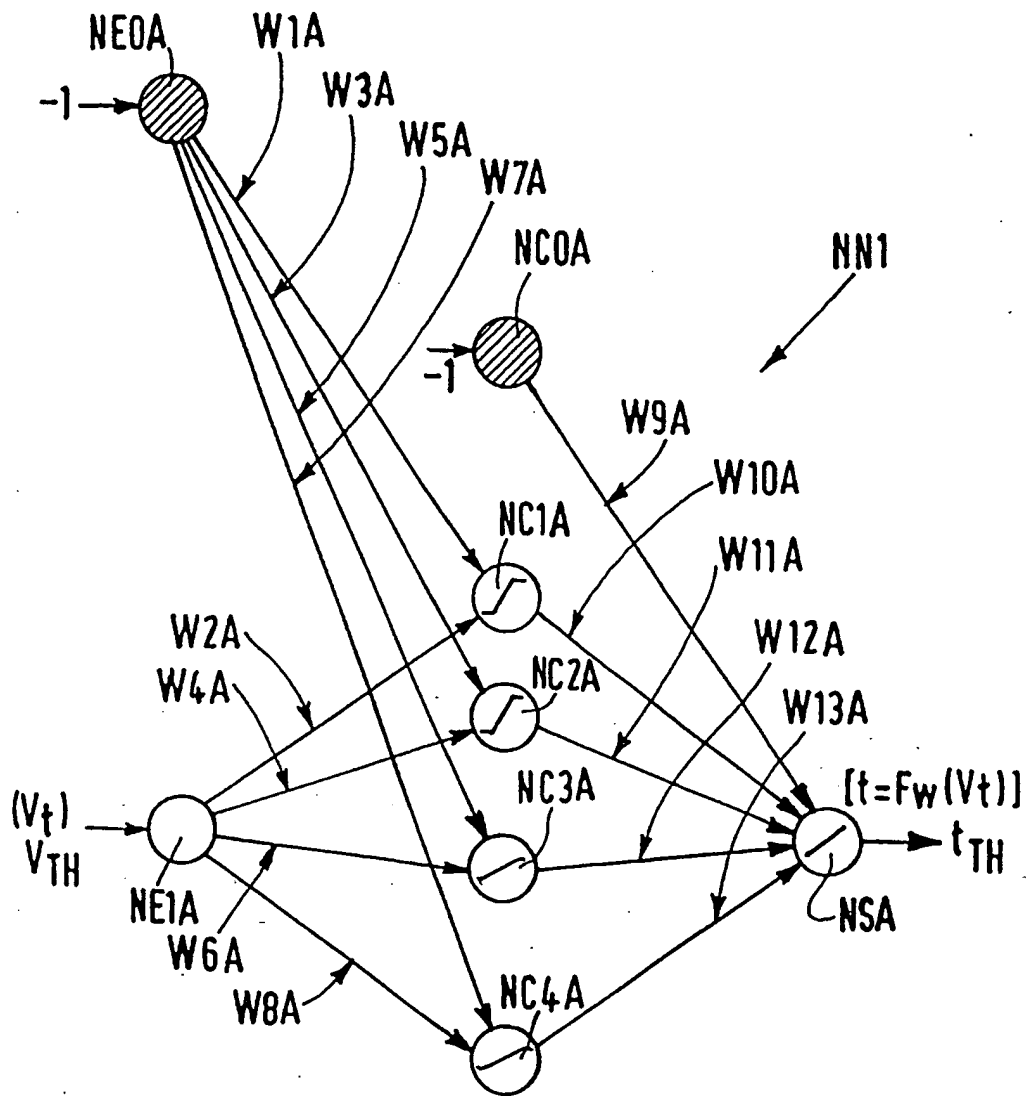
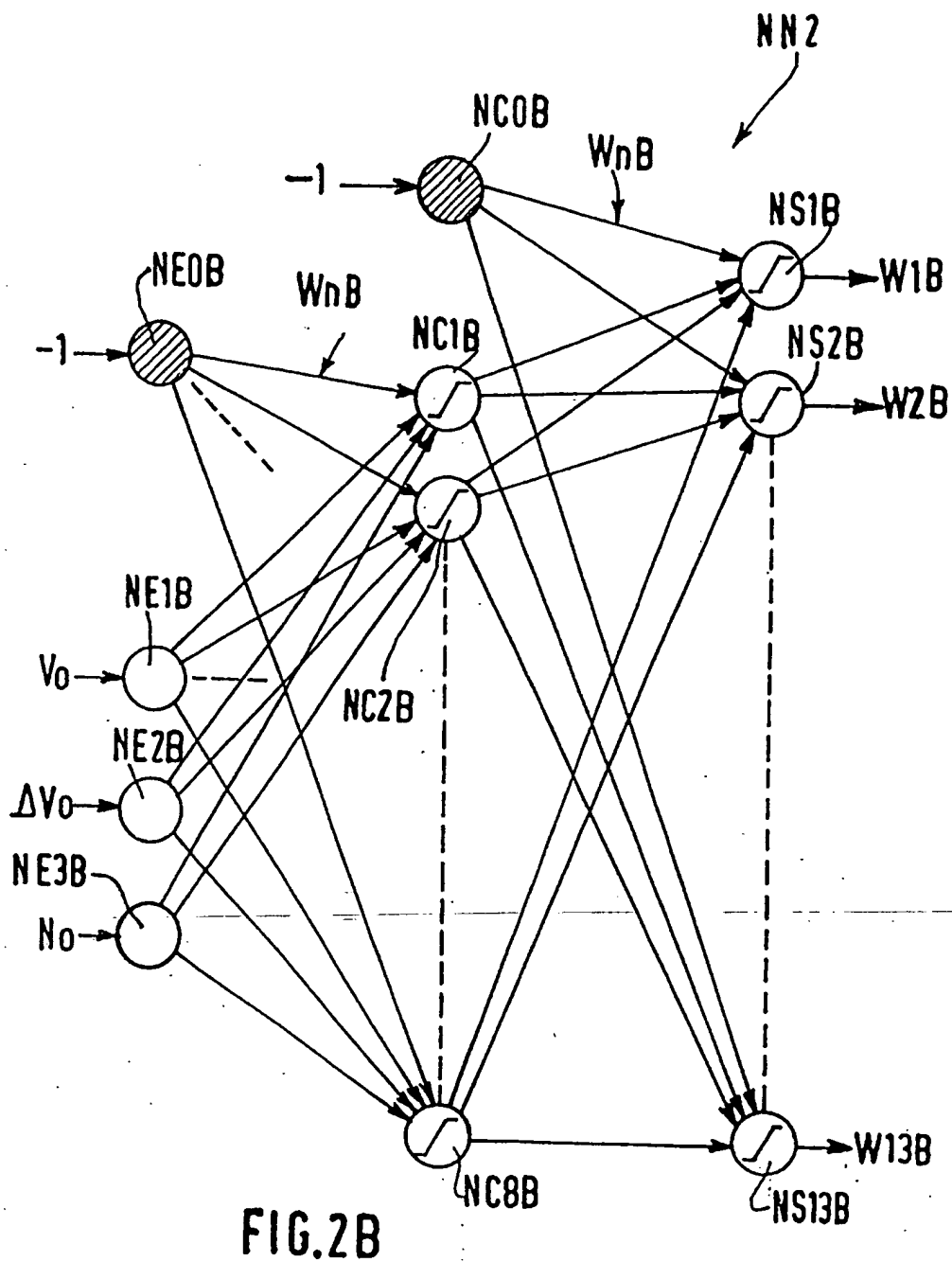


FIG. 2A



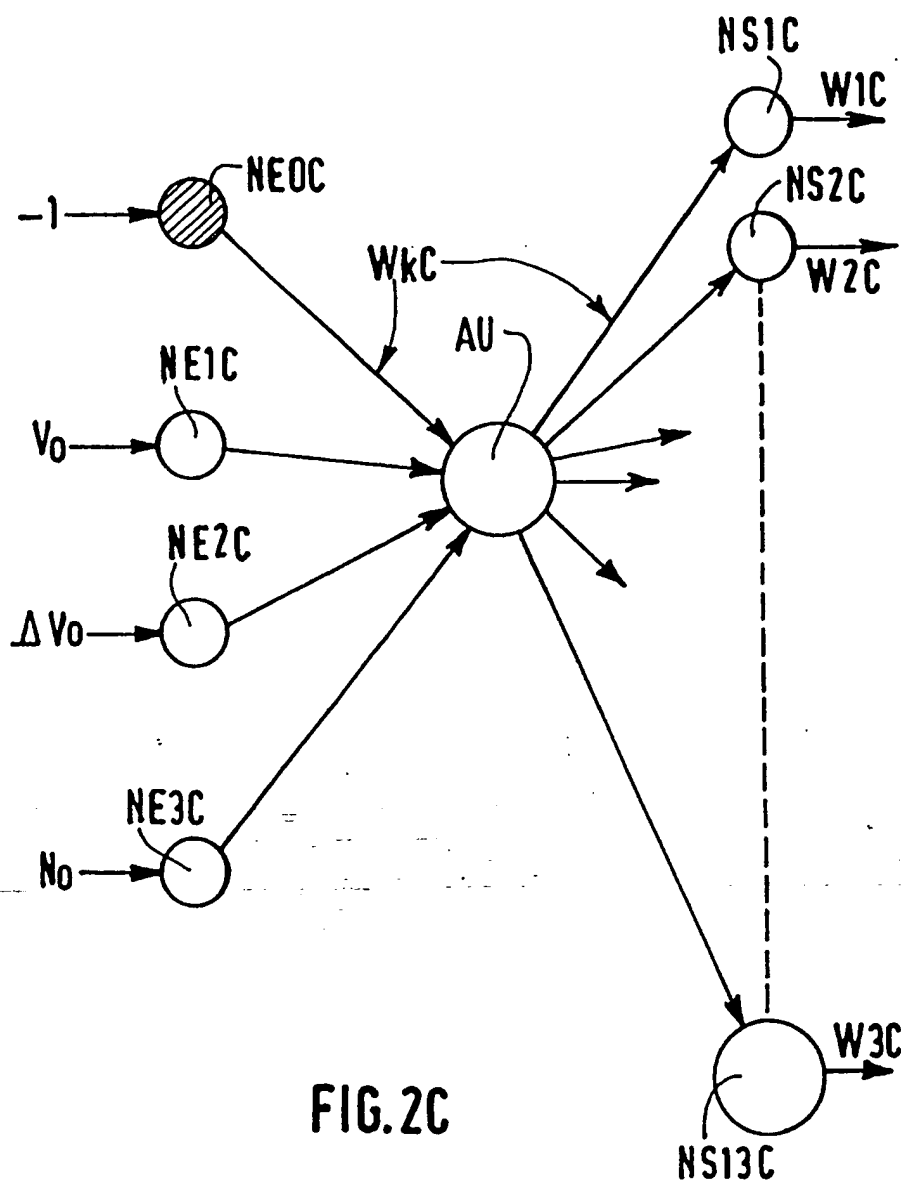
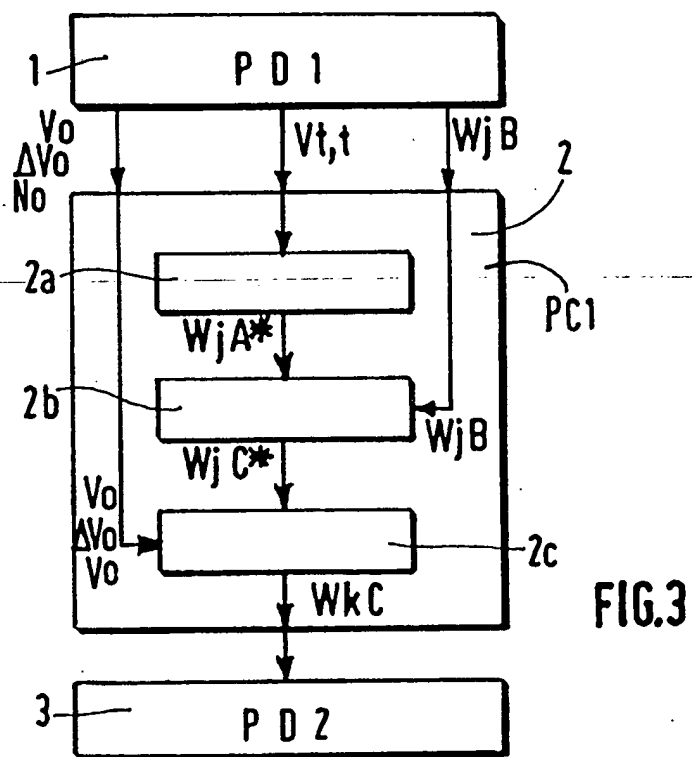
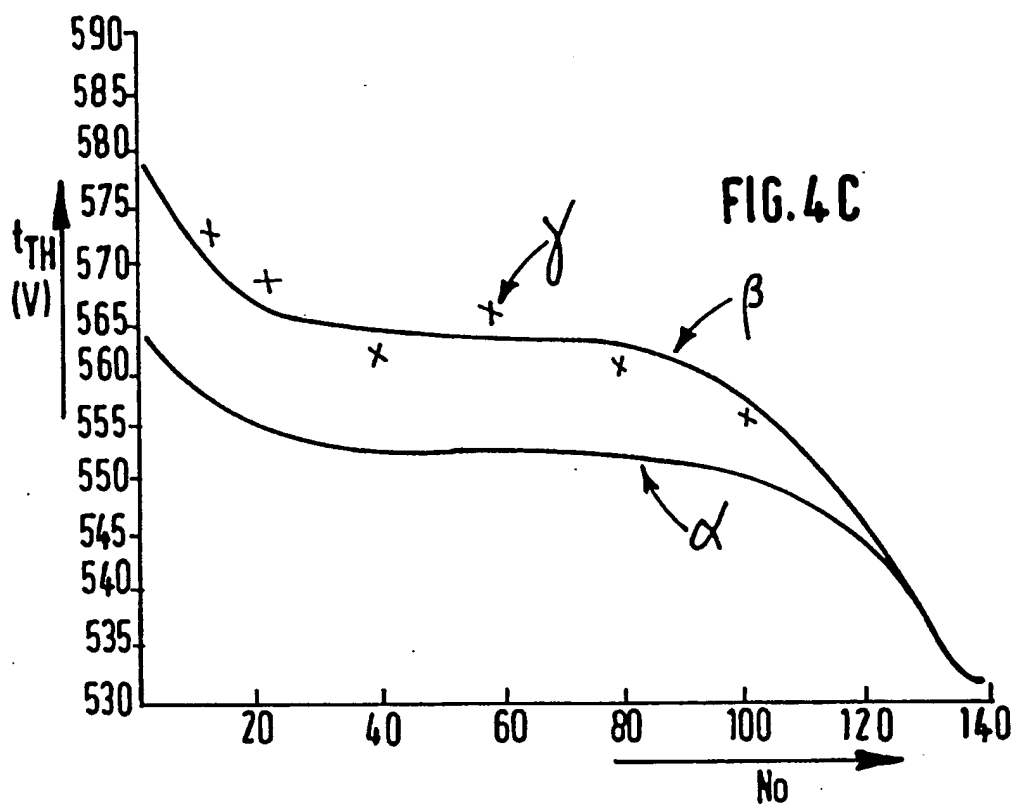
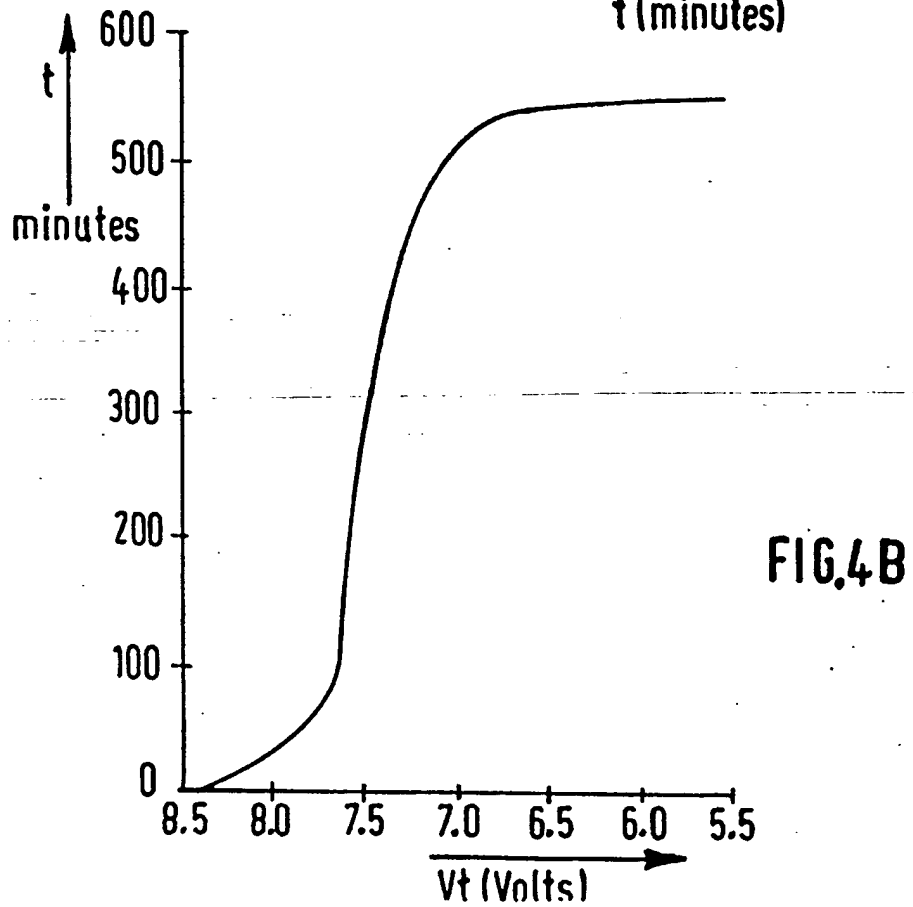
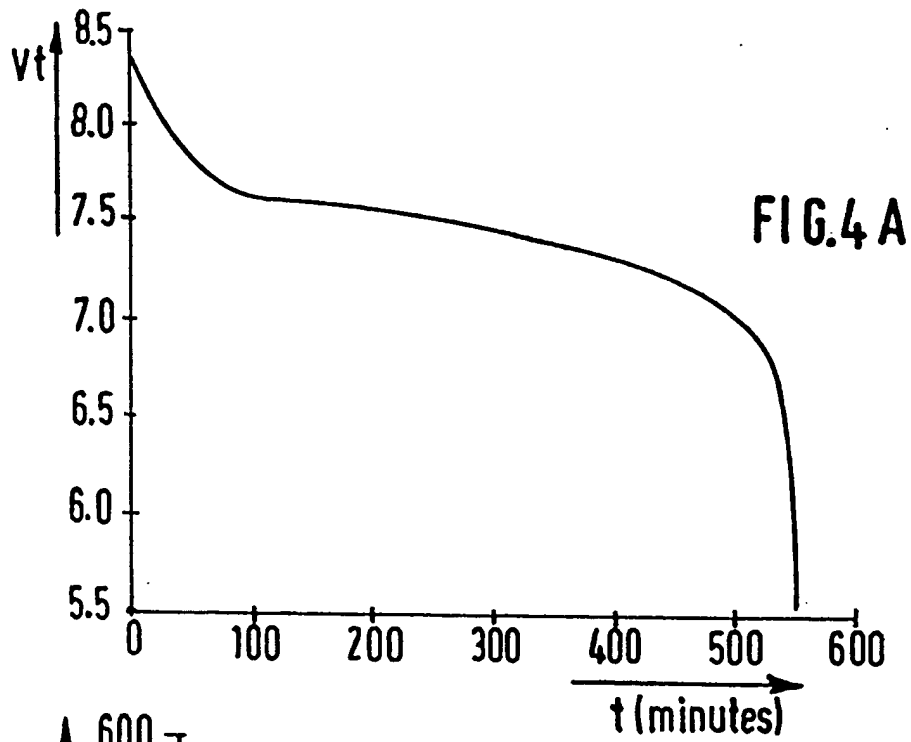
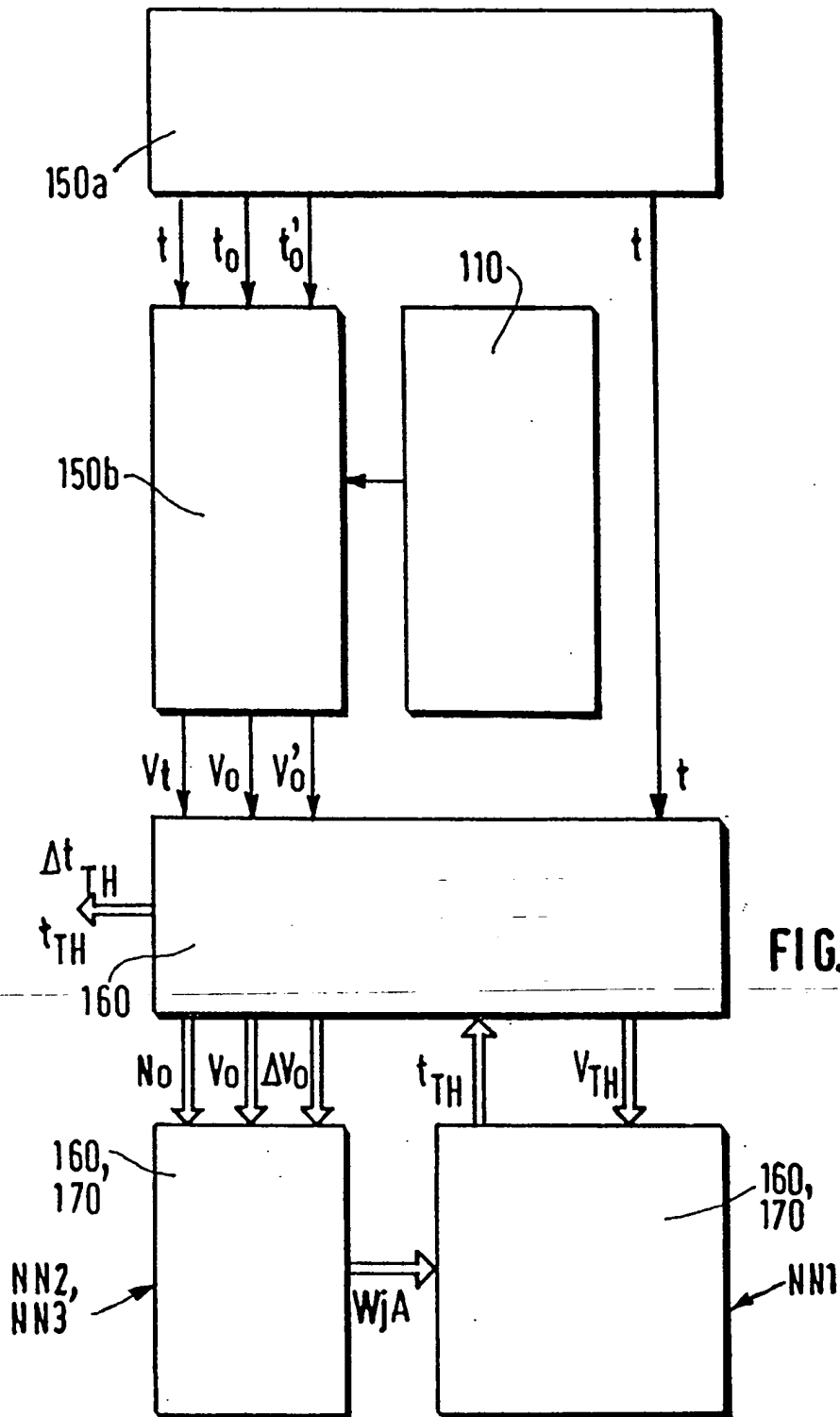


FIG. 2C







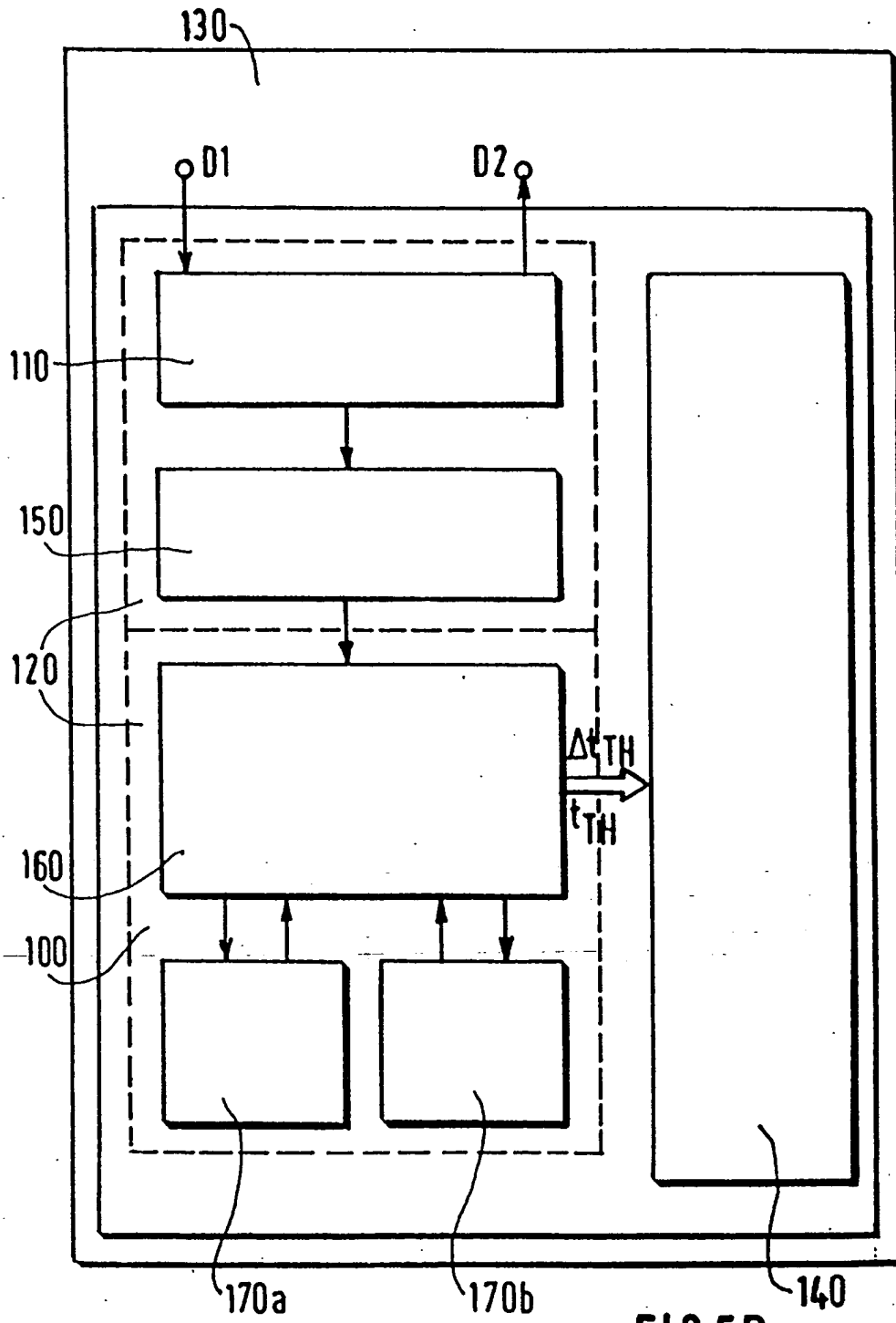


FIG. 5B

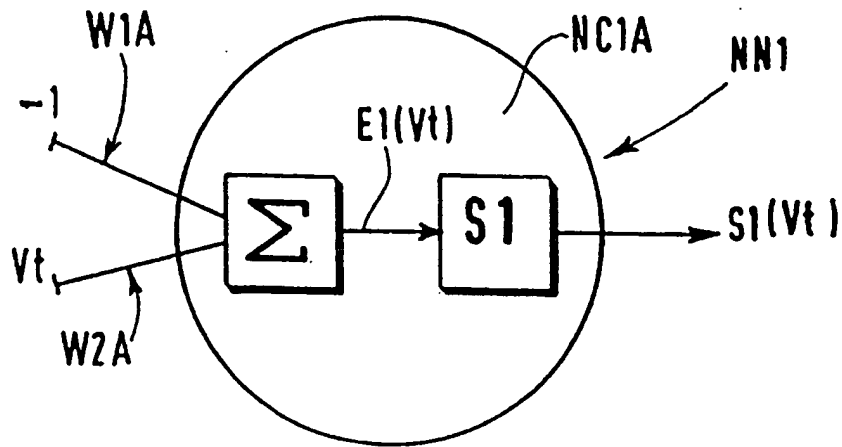


FIG. 6A

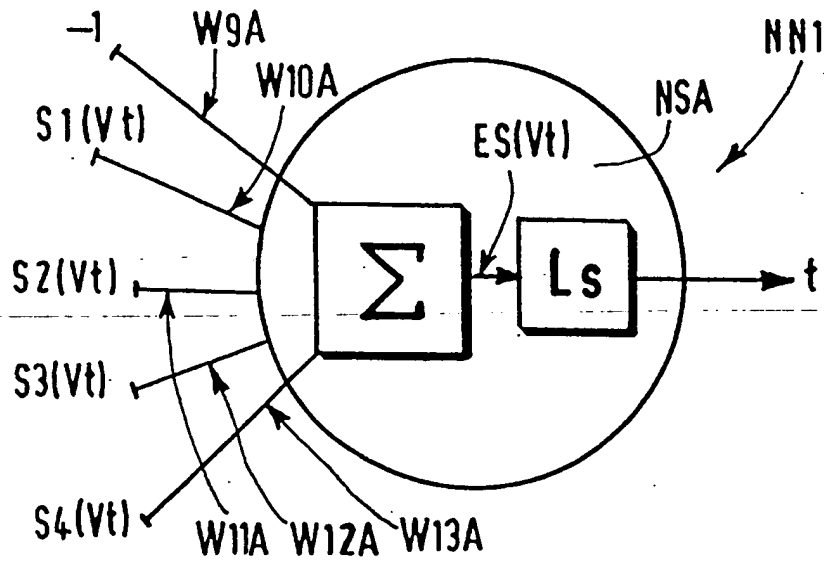


FIG. 6B



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 96 20 2928

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée
D,A	TENTH E.C. PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE. PROC. OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE, LISBON, PORTUGAL, 8-12 APRIL 1991, pages 427-430, XP000577575 M. STOLL: "Neural networks - a proper approach to the energy management problem?" * le document en entier *	1-14
A	EP 0 420 530 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 3 Avril 1991 * abrégé *	1-14
A	EP 0 505 333 A (ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE L) 23 Septembre 1992 * abrégé *	1-14
A	WO 90 13823 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 15 Novembre 1990 * abrégé; figure 4 *	1-14
A	IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN, vol. 29, no. 1, Juin 1986, NEW YORK, US, pages 352-356, XP002008839 ANONYMOUS: "Dynamic Rechargeable Battery End-Of-Life Prediction" * le document en entier *	1-14
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications		
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 3 Mars 1997
		Examineur Moyle, J
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons Δ : membre de la même famille, document correspondant</p>		

EPO FORM 150 (01/92) (P0402)